

ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ СТЕЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ПОТОКОВ СВЧ ЭНЕРГИИ

Д.А. Лоик, А.В. Мамонтов, Е.В. Никишин, В.Н. Нефедов, М.В. Нефедов
Научно-исследовательский институт перспективных материалов и технологий
E-mail: niipmt@mail.ru

Methods of even temperature distribution creation over the cross section of dielectric pipes crossing in series two sections of the heating microwave device are considered. The first section of this microwave device is realized as a circular waveguide working on the E_{01} mode shape, the second section of this microwave device is realized as a septate waveguide. Temperature superposition from each of these sections results in the even temperature distribution over the cross section of the pipe. Temperature field dispersion over the cross section of the pipe averages less than 8%.

Рассмотрен метод воздействия концентрированных потоков СВЧ энергии на процесс полимеризации стеклопластиковых труб с малой теплопроводностью.

При изготовлении стеклопластиковых труб используется полимерное связующее с низким коэффициентом теплопроводности. Поэтому, при технологическом нагреве изделия внешним источником тепла, по поперечному сечению трубы создается неоднородное температурное поле, приводящее к возникновению градиента скорости химической реакции при отверждении и появлению внутренних напряжений и, следовательно, к ухудшению физико-механических характеристик изделия. Кроме того, длительное воздействие высоких температур вызывает нарушение однородности и деструкцию поверхностных слоев диэлектрических труб.

Микроволновый метод позволяет осуществить равномерный нагрев диэлектрической трубы и снять внутренние термические напряжения в процессе реакции полимеризации, которая происходит во всем объеме одновременно и приводит к высоким прочностным характеристикам получаемых изделий, что позволяет им работать в агрессивных средах при больших давлениях.

Для равномерного нагрева диэлектрических труб используется СВЧ устройство, состоящих из двух секций. Первая секция СВЧ устройства на основе круглого волновода обеспечивает максимальную температуру по внутренней поверхности трубы и ее спад по радиусу к внешней поверхности трубы, а вторая секция СВЧ устройства на основе диафрагмированного волновода обеспечивает максимальную температуру по внешней поверхности трубы и ее спад по радиусу к внутренней поверхности трубы. Результирующее распределение температуры по сечению диэлектрической трубы от двух секций СВЧ устройства может удовлетворять условиям технологического процесса.

Круглый волновод работает на основном типе волны E_{01} и распределение напряженности электрического поля в поперечном сечении по радиусу

волновода описывается функцией Бесселя нулевого порядка. Максимальная температура трубы в круглом волноводе обеспечивается на внутренней поверхности трубы и спадает по радиусу к внешней поверхности трубы.

Диафрагмированный волновод представляет собой замедляющую систему, степень концентрации напряженности электрического поля к поверхности замедляющей системы определяется коэффициентом замедления. Максимальная температура в диафрагмированном волноводе достигается на внешней поверхности трубы и спадает от поверхности замедляющей системы к внутренней поверхности трубы по экспоненциальному закону.

На рис. 1 представлен общий вид двухсекционного СВЧ устройства для термообработки диэлектрических труб на рабочей частоте 2450 МГц.

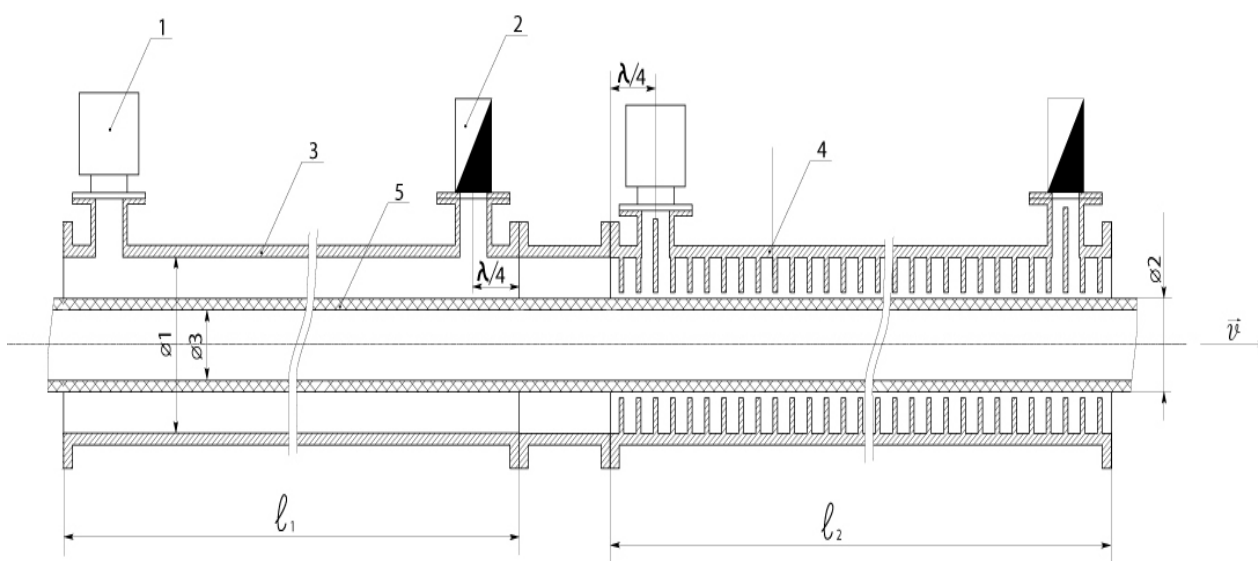


Рис. 1. СВЧ устройство для термообработки диэлектрических труб:

1 – источник СВЧ энергии; 2 – согласованная нагрузка; 3 – круглый волновод; 4 – диафрагмированный волновод; 5 – диэлектрическая труба; $\Phi 1$ – диаметр круглого волновода ($\Phi 1 = 100\text{мм}$); $\Phi 2$ – внешний диаметр диэлектрической трубы и диафрагмированного волновода ($\Phi 2 = 60\text{мм}$); $\Phi 3$ – внутренний диаметр диэлектрической трубы ($\Phi 3 = 40\text{мм}$); l_1 – длина секции круглого волновода; l_2 – длина секции диафрагмированного волновода; \vec{v} – скорость движения диэлектрической трубы.

В качестве модели каждой секции СВЧ устройства, работающей в режиме бегущей волны, использована нагруженная длинная линия.

Распределение температуры по радиусу диэлектрической трубы в круглом волноводе в заданном поперечном сечении описывается выражением [1, 2]:

$$T_z(r) \sim T_z(0) \cdot [J_0(\gamma \cdot r)]^2, \quad (1)$$

где

$$\gamma = \sqrt{k^2 \cdot \epsilon' - \beta^2} \quad (2)$$

ε' - действительная составляющая относительной диэлектрической проницаемости материала трубы;
 β - фазовая постоянная распространения:

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_{\text{волн}}} \quad (3)$$

$\lambda_{\text{волн}}$ - длина волны в волноводе;
 k - волновое число свободного пространства:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (4)$$

λ - длина волны источника СВЧ энергии.

Распределение температуры по радиусу диэлектрической трубы в диафрагмированном волноводе в заданном поперечном сечении описывается выражением [1]:

$$T(r) \sim T(0) \cdot e^{-2 \cdot k \cdot k_{\text{зам}} \cdot \sqrt{1 - \frac{\varepsilon'}{k_{\text{зам}}^2}} \cdot r}, \quad (5)$$

$T(0)$ - температура трубы на поверхности диафрагмированного волновода;
 $k_{\text{зам}}$ - коэффициент замедления волны:

$$k_{\text{зам}} = \frac{\lambda}{\lambda_{\text{зам}}} \quad (6)$$

На рис. 2 представлены рассчитанные и экспериментальные характеристики распределения температуры по поперечному сечению трубы в стационарном режиме в круглом волноводе.

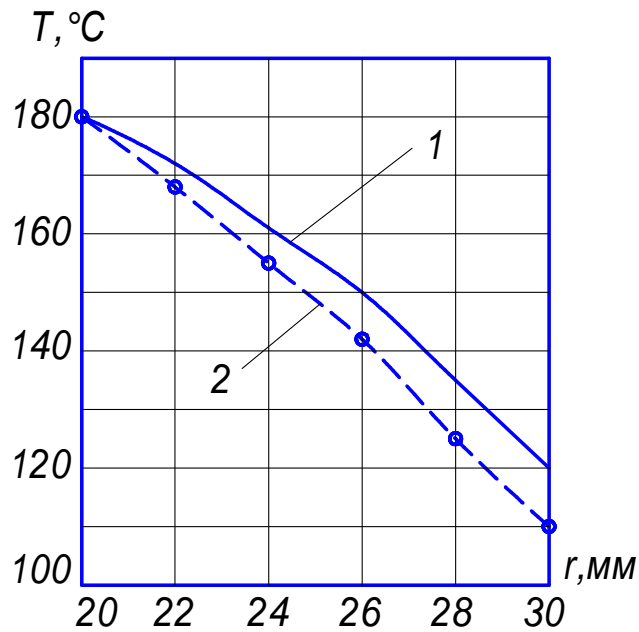


Рис. 2. Рассчитанные (1) и экспериментальные (2) характеристики распределения температурного поля по поперечному сечению трубы в стационарном режиме.

На рис. 3 представлены рассчитанные и экспериментальные характеристики распределения температуры по поперечному сечению трубы в стационарном режиме в диафрагмированном волноводе.

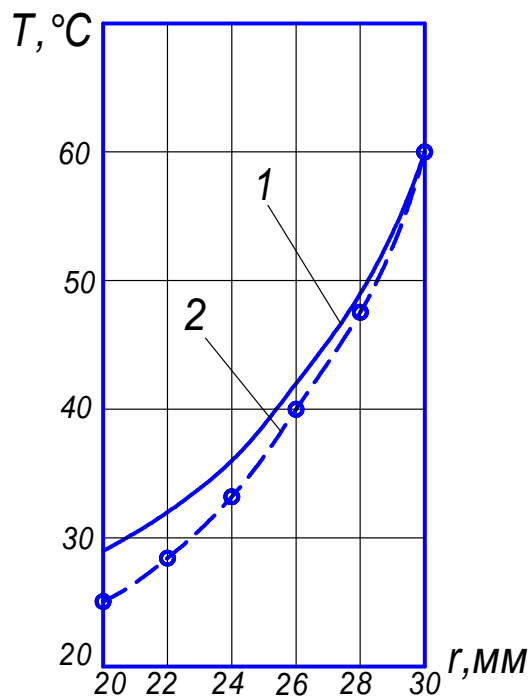


Рис. 3. Рассчитанные (1) и экспериментальные (2) характеристики распределения температуры по поперечному сечению трубы в диафрагмированном волноводе (стационарный режим).

На рис. 4 представлены рассчитанные и экспериментальные характеристики распределения температуры по поперечному сечению диэлектрической трубы

полученного от последовательной суперпозиции распределения температуры от двух секций СВЧ устройства в стационарном режиме.

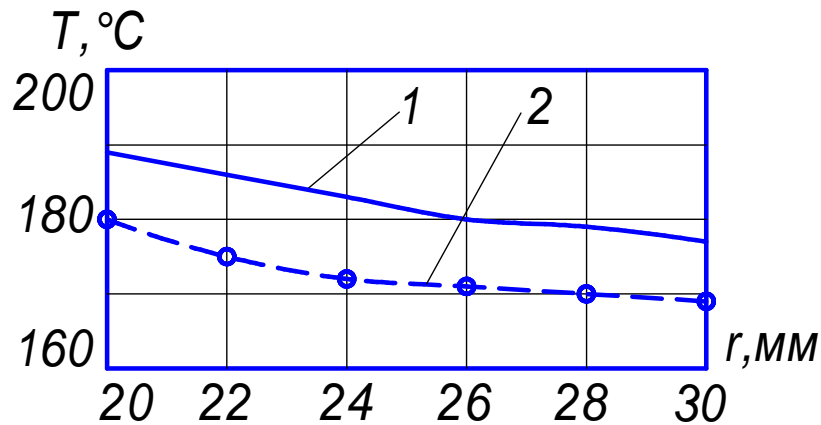


Рис. 4. Рассчитанные (1) и экспериментальные (2) характеристики распределения температуры по поперечному сечению диэлектрической трубы после прохождения двух секций СВЧ устройства.

Разброс температурного поля в диэлектрической трубе при нагреве от 20°C до 180°C не превышает 12°C . Расхождение рассчитанных и измеренных характеристик распределения температурного поля в диэлектрической трубе не превышает 8%.

1. И.В. Назаров, М.В. Нефедов, В.Н. Нефедов, Т.А. Потапова, А.В. Мамонтов “Измерение распределения температурного поля по сечению материалов в поле бегущей СВЧ волны” Метрология, № 3, 2006, стр.9-20.
2. Архангельский Ю.С., Девяткин И.И. Сверхвысокочастотные нагревательные установки для интенсификации технологических процессов. – Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1983.